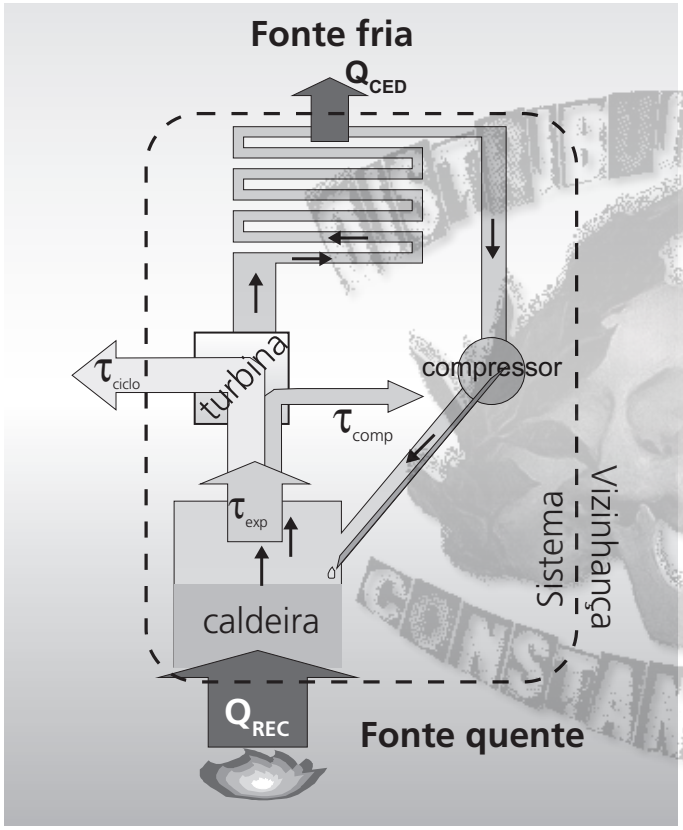
Aulas 9 e 10

MÁQUINAS TÉRMICAS, SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA E CICLO DE CARNOT

Máquinas térmicas

Máquinas térmicas são dispositivos destinados a converter energia térmica em energia mecânica.

Para que isso seja possível, o fluido operante (podendo ser um gás ou um líquido), que constitui o nosso sistema termodinâmico, terá de trocar calor com sua vizinhança, conforme o esquema abaixo.



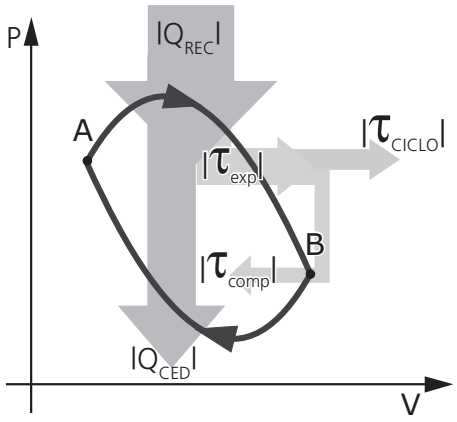
Quando o sistema está a uma temperatura menor do que a fonte quente na vizinhança, flui calor desta para aquele.

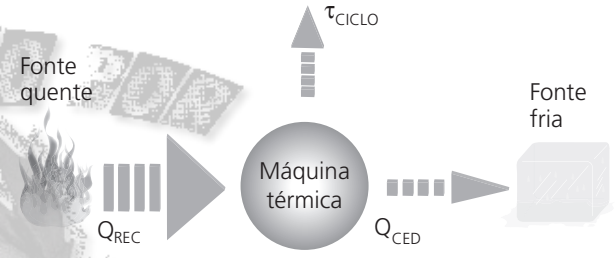
Com o recebimento do calor, o fluido se expande, realizando trabalho sobre a vizinhança.

Para recomeçar o ciclo, o fluido deve retornar ao seu estado inicial. Assim, irá ser comprimido (o que acarretaria aumento de temperatura, caso não perdesse calor para a vizinhança).

O trabalho realizado sobre o gás durante a compressão pode ser obtido através do "desvio" de parte do trabalho realizado pelo gás durante sua expansão. Assim, o trabalho do ciclo é a diferença entre o trabalho realizado pelo gás em sua expansão e o trabalho realizado sobre ele durante sua compressão, retornando ao estado inicial.

Antes de ser comprimido, o fluido cede calor para a parte da vizinhança que está a uma menor temperatura: a fonte fria.





Do princípio da conservação da energia (primeira lei da termodinâmica), podemos concluir que, em um ciclo completo, toda a energia que entrou no sistema deve ter saído. Dessa forma:

$$|Q_{REC}| = \tau_{CICLO} + |Q_{CED}|$$

Finalmente, vamos refletir sobre o seguinte aspecto:

Para que haja funcionamento de uma máquina térmica, é necessário que a vizinhança dessa máquina térmica esteja em desequilíbrio térmico, ou seja, é necessário que uma parte dessa vizinhança esteja a uma maior temperatura que a outra (fonte fria e fonte quente).

Se a vizinhança da máquina estiver toda a uma mesma temperatura, o fluido operante poderá, em algum momento, receber calor da vizinhança, mas não terá como ceder calor para ela (uma vez que a troca de calor pressupõe diferença de temperatura). Isso ocorre porque, durante a entrada do calor, a vizinhança deve estar a uma temperatura maior do que o fluido operante e, durante a saída do calor, a vizinhança deve estar a uma temperatura menor do que esse fluido.

Assim, pode-se dizer que a máquina térmica aproveita o fluxo de calor que haveria, espontaneamente, entre duas partes da vizinhança (fonte quente e fonte fria), para converter parte dessa energia em trabalho mecânico.

Rendimento

Por definição, rendimento representa a razão entre a porção útil e o valor de tudo o que recebemos. No caso de um ciclo, a parcela útil é o trabalho do ciclo e o total de energia recebida para essa atividade é o calor oriundo da fonte quente.

$$\eta = \frac{\tau_{CICLO}}{|Q_{REC}|} = \frac{|Q_{REC}| - |Q_{CED}|}{|Q_{REC}|} \qquad \boxed{\eta = 1 - \frac{|Q_{CED}|}{|Q_{REC}|}}$$

2ª Lei da Termodinâmica

Lembra-se de termos concluído que a máquina térmica aproveita o fluxo de calor que haveria, espontaneamente, entre duas partes da vizinhança (fonte quente e fonte fria), para converter parte dessa energia em trabalho mecânico?

Se toda a vizinhança estivesse à mesma temperatura, não haveria esse fluxo de calor para ser aproveitado na transformação em trabalho.

Analisemos o seguinte caso:

- O fluido recebe calor, aquece-se e expande-se, realizando trabalho.
- Para retornar ao estado inicial, será necessário: compressão e resfriamento.

Contudo, a compressão significa entrada de energia interna, aumentando a temperatura (contrariando o nosso objetivo de resfriar o fluido). Assim, essa volta ao estado inicial seria impossível sem a saída de calor nessa transformação, a fim de resfriar o gás.

Na máquina térmica ideal, o rendimento seria 100%. Contudo, a concretização disso implicaria não haver calor rejeitado para a fonte fria.

Isso, conforme foi visto na prática, é impossível.

A partir dessa observação, surgiu o enunciado de Kelvin-Planck para a Segunda Lei da Termodinâmica:

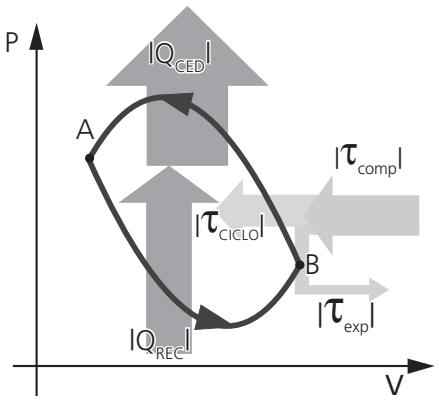
> É impossível construir uma máquina térmica que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica recebida da fonte quente.

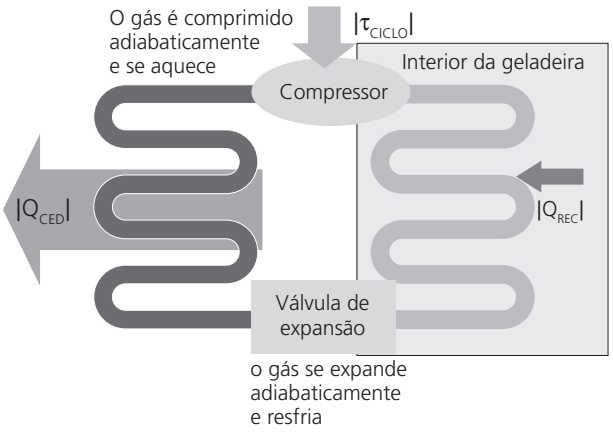
Máquinas frigoríficas

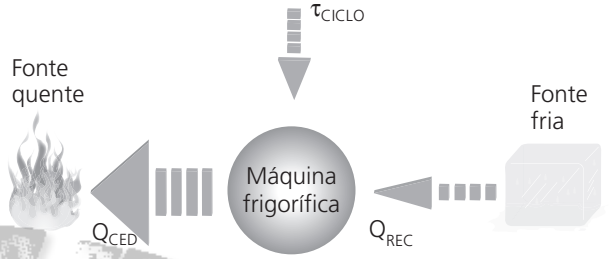
Conforme já foi estudado, o calor flui espontaneamente entre duas partes de um sistema da região de maior temperatura para a de menor temperatura, sem que seja necessário interferência externa nesse sistema.

Portanto, o **movimento** contrário do calor exige que haja um agente externo, a fim de **forçar** essa transferência não espontânea: a vizinhança precisa realizar trabalho sobre o sistema para que isso ocorra.

Máquinas frigoríficas são dispositivos que, durante seu funcionamento, recebem energia na forma de trabalho, a fim de transferir calor de um sistema de menor temperatura (fonte fria) para outro de maior (fonte quente). É o caso dos refrigeradores.







Eficiência ou coeficiente termodinâmico (e)

No caso da máquina frigorífica, sua utilidade é receber calor da fonte fria, resfriando-a. Para a execução dessa atividade, a máquina recebe trabalho da vizinhança a cada ciclo. Assim, ficou conveniente definir:

$$e = \frac{Q_{REC}}{\tau_{CICLO}}$$

Nota-se que não se faz uso de percentual para a medida de eficiência, uma vez que **e** pode ter valores acima de 1.

2ª Lei da Termodinâmica

Outra forma de enunciar a Segunda Lei da Termodinâmica foi feita por Rudolf Clausius, no contexto das máquinas frigoríficas:

> É impossível uma máquina, sem a ajuda de um agente externo, conduzir calor de um sistema para outro que esteja a uma temperatura maior.

Reversibilidade de processos físicos

Processos irreversíveis

Expansão livre

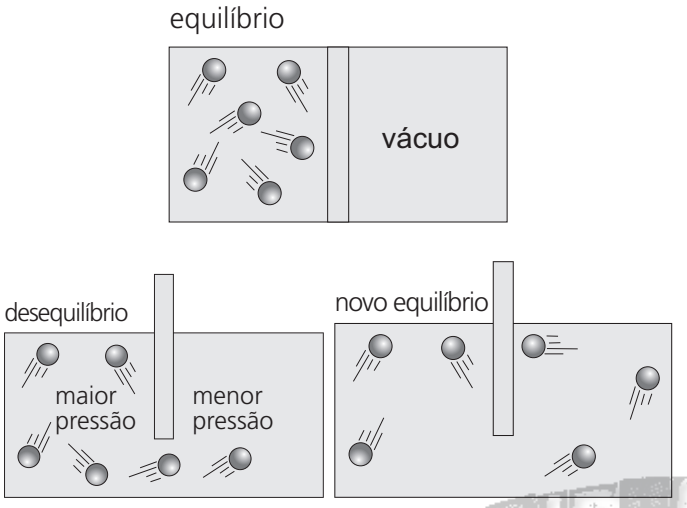
A expansão livre de um gás ideal é um bom exemplo de um processo irreversível.

Durante a expansão livre, o gás não realiza trabalho, porque se expande sem "fazer força". Se o recipiente for isolado termicamente, não há variação da energia interna do gás, ou seja, o gás possui a mesma quantidade de energia antes e depois da expansão.

Contudo, se desejarmos trazer o gás novamente a seu estado inicial, devemos realizar trabalho sobre o gás, uma vez que **não existe compressão livre**.

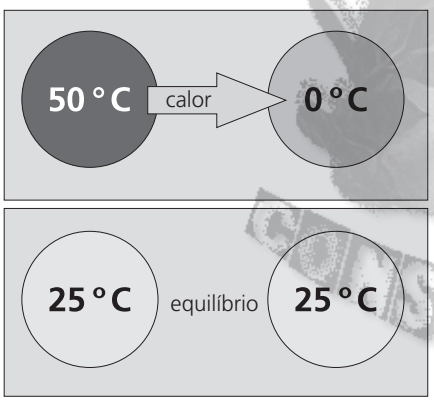
Se o gás tivesse empurrado um êmbolo, ao se expandir, poderíamos ter aproveitado a transformação para realizar trabalho.

Contudo, não o fizemos e o processo não pode ser revertido. Houve perda da capacidade de realizar trabalho, mas, uma vez que a energia interna permaneceu a mesma, podemos dizer que após a expansão livre ela é menos proveitosa para a realização de trabalho. Dependendo da extensão da expansão livre, a **energia do gás sofreu** uma certa quantidade de **degradação termodinâmica**.



Troca de calor

Já estudamos que o calor flui espontaneamente de uma região de maior temperatura para outra de menor. Contudo, o processo inverso não ocorre, sendo necessário dispêndio de energia para realizá-lo (um ar-condicionado, por exemplo).



Nesse processo, a energia total do sistema permaneceu a mesma, uma vez que o calor cedido por um foi completamente recebido pelo outro corpo.

Será que nesse processo houve degradação termodinâmica? Será que há menor disponibilidade de energia para realização de trabalho?

A resposta é SIM! Antes da troca de calor, era possível utilizar o desequilíbrio térmico do sistema para alimentar uma máquina térmica (um corpo seria a fonte quente e o outro, a fria). Com essa máquina, poderíamos realizar trabalho! Após o equilíbrio térmico, isso já não mais é possível.

Sistemas com atrito cinético

O atrito cinético pode espontaneamente frear um corpo, contudo, espontaneamente, não é capaz de acelerá-lo. Assim, processos físicos em que o atrito cinético está presente são irreversíveis.

Nesse processo, a energia cinética do bloco foi convertida em energia térmica, uma vez que as superfícies atritantes sofreram aumento de temperatura (as moléculas das superfícies ganharam energia cinética de translação!).

Mais uma vez vem a pergunta: houve degradação da energia? Sim! Antes, poderíamos utilizar o movimento do bloco para, em uma colisão dele com outro objeto, realizar trabalho. Agora, não podemos mais.

Assim, concluímos que:

Em todo processo irreversível, há degradação de energia.

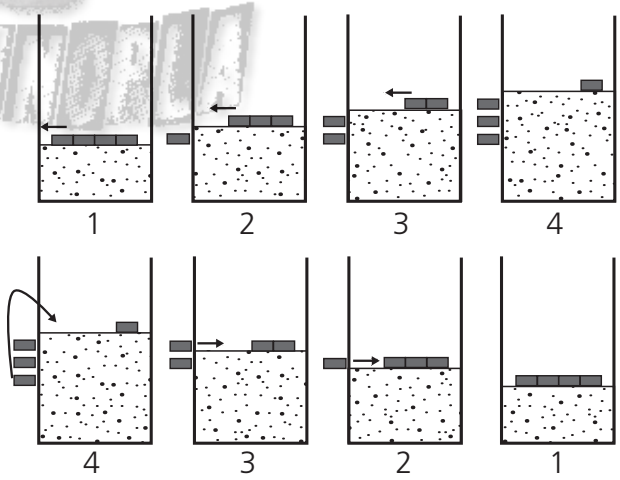
Processos reversíveis

Como seria um processo reversível? Poderíamos começar essa análise com uma **negativa dos processos irreversíveis**.

Processos quase estáticos

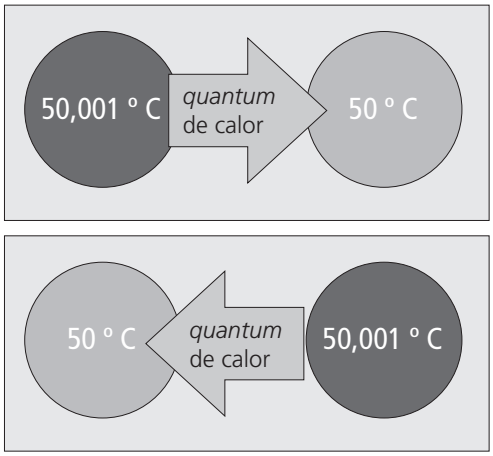
Primeiramente, em oposição à expansão livre está a expansão quase estática do gás. Em uma transformação dessas, o gás não passa por estados de desequilíbrio (com turbulências e diferenças de pressão).

Os processos quase estáticos ocorrem através de sucessivos estados de equilíbrio de um gás. No caso de uma expansão quase estática, o gás realiza trabalho, não desperdiçando a oportunidade de realizá-lo.



Observando as figuras acima, vemos que é possível reverter o processo passando pelos mesmos estados intermediários da transformação.

Trocas de calor entre corpos cuja diferença de temperatura é muito pequena (infinitesimal)



Esse processo aconteceria quando dois corpos tivessem temperaturas quase iguais e trocassem calor. A rigor, esse processo é ideal. Na prática, não conseguimos realizá-lo. Aliás, na prática, nenhum processo reversível pode ser realizado. Até mesmo a expansão quase-estática acaba gerando algumas pequenas turbulências no gás.

Processos sem atrito cinético

A inexistência de atrito cinético é condição imprescindível para que o processo seja reversível. Uma vez que ele exista, não será possível revertê-lo.

Sendo assim, um processo livre de atritos cinéticos pode ser reversível.

Quando um processo é reversível, não há a degradação de energia, uma vez que, durante esse processo, aproveitamos efetivamente a transformação para realização de trabalho, ou podemos reverter o processo para aproveitar.

O conceito de entropia

Entropia em processos irreversíveis

O termo **degradação**, em seu sentido técnico, significa que o gás perdeu alguma de sua capacidade de realizar trabalho útil. Isso ocorre porque essa expansão, caso não fosse livre, poderia ter sido aproveitada para a realização de trabalho.

Novamente, se um objeto aquecido é trazido em contato com um objeto frio, de maneira a atingir a temperatura de equilíbrio, não ocorre perda de energia térmica. Entretanto, antes de serem colocados em contato, os objetos quente e frio poderiam efetuar trabalho útil por meio de uma máquina térmica conveniente; depois do contato, por outro lado, os dois objetos não podem realizar trabalho, desde que, agora, não há mais diferença de temperatura entre eles. Aqui, novamente, uma certa proporção de degradação termodinâmica foi envolvida.

Como exemplo final, a difusão de dois gases é um processo irreversível envolvendo degradação termodinâmica.

Processos **irreversíveis** são aqueles em que:
- ou há atrito;
- ou há expansão livre (ou turbulências);
- ou há troca de calor entre corpos com diferença de temperatura finita.

Como conclusão positiva:

Em todos os **processos irreversíveis** há degradação termodinâmica de energia.

Quando há essa degradação termodinâmica, dizemos que **aumentou a desordem do sistema** (fluido e vizinhança), desordem essa que chamaremos **entropia**.

Entropia representa uma função de estado

A entropia S, quando expressa em função do volume V do sistema, da quantidade de partículas N do sistema e da energia interna U do sistema, S (U,N,V), é uma **Equação Termodinâmica Fundamental** para um sistema termodinâmico simples.

Simplificando o conceito de entropia:
- A desordem de um sistema é tão maior quanto mais **espalhadas** suas **partículas**.
- A desordem de um sistema é tão maior quanto mais **espalhada** a **energia** interna entre as partículas.
- A desordem de um sistema é tão maior quanto mais **agitadas as partículas**.

Entropia em processos reversíveis

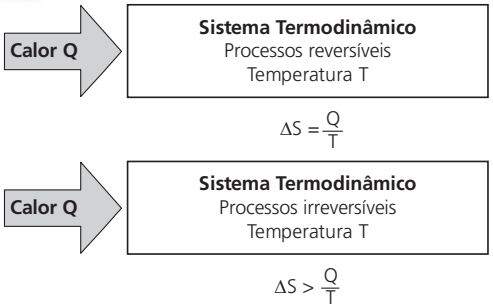
Os processos, nas transformações gasosas, são **reversíveis** quando:
- ocorrem lentamente (como uma sucessão de estados de equilíbrio) e sem turbulências;
- sem atrito;
- sem trocas de calor entre partes do sistema com diferença de temperatura finita, ou seja, quando as trocas de calor são entre corpos com diferença de temperatura infinitesimal (quase nula).

É possível observar que, em um sistema que há apenas **processos reversíveis**, a entropia do sistema varia apenas quando há troca de calor entre esse sistema e o meio externo, de acordo com a expressão:

$$S_{FINAL} - S_{INICIAL} = \Delta S_{REVERSÍVEL} = \frac{Q}{T}$$

Onda S é a entropia do sistema, Q é o calor trocado e T é a temperatura absoluta.

Essa equação é válida apenas para transformações em que T é constante, mas o fato de que a **entrada de calor em um sistema implicar aumento de entropia desse sistema** é válido para as demais **transformações reversíveis**.



Entropia em sistemas isolados

Em um sistema isolado termicamente, ou seja, quando não há troca de calor entre o sistema e o meio externo, há duas possibilidades:
- Se nesse sistema houver apenas processos internos **reversíveis**, a entropia do sistema permanecerá constante;
- Se nesse sistema houver processos internos **irreversíveis**, a entropia do sistema aumentará.

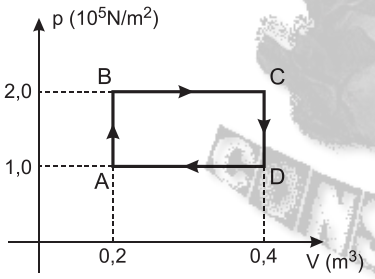
Portanto, em um sistema isolado, a entropia ou aumenta ou permanece constante. É impossível a diminuição da entropia em um sistema isolado termicamente.

Exercícios

01. (EPCar (AFA)) Com relação às máquinas térmicas e a segunda lei da termodinâmica, analise as proposições a seguir.
I. Máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia mecânica em energia térmica com consequente realização de trabalho;
II. O enunciado da segunda lei da termodinâmica, proposto por Clausius, afirma que o calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente, a não ser forçado por um agente externo como é o caso do refrigerador;
III. É possível construir uma máquina térmica que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica de uma fonte quente;
IV. Nenhuma máquina térmica operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas.

São corretas apenas
A) I e II
B) II e III
C) I, III e IV
D) II e IV

02. (EPCar (AFA)) Uma máquina térmica funciona fazendo com que 5 mols de um gás ideal percorra o ciclo ABCDA representado na figura.



Sabendo-se que a temperatura em A é 227 °C, que os calores específicos molares do gás, a volume constante e a pressão constante, valem, respectivamente, 2/3R e 5/2R e que R vale aproximadamente 8 J/mol · K, o rendimento dessa máquina, em porcentagem, está mais próximo de
A) 12.
B) 15.
C) 18.
D) 21.

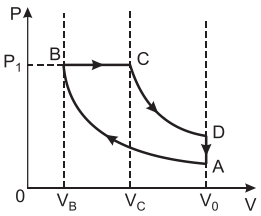
03. Leia o texto e as afirmativas que seguem.

As principais partes de um refrigerador doméstico são o congelador, o condensador e o compressor, sendo que essas duas últimas peças estão localizadas na parte externa do aparelho. O funcionamento do refrigerador depende da circulação de um fluido refrigerante impulsionado pelo compressor. Durante o ciclo termodinâmico, o fluido sofre transformações nas variáveis estado, pressão e temperatura, o que determina o resfriamento no interior do aparelho, levando para fora a energia oriunda dos alimentos refrigerados.

Em relação a essas transformações, considere as seguintes afirmativas:
I. No congelador, a pressão do gás diminui, e sua temperatura se eleva com a absorção de energia;
II. No congelador, a pressão do gás aumenta, e sua temperatura diminui com a liberação de energia;
III. No condensador, a pressão do gás é maior do que no congelador, e sua temperatura diminui com a liberação de energia;
IV. No condensador, a pressão do gás diminui, e sua temperatura aumenta.

Estão corretas apenas as afirmativas
A) I e III.
B) I e IV.
C) II e III.
D) II e IV.
E) II, III e IV.

04. Uma máquina térmica opera de acordo com o ciclo dado pela figura a seguir, onde possui duas curvas adiabáticas, AB e CD. De B para C, o calor é absorvido da fonte quente. Considerando que o gás utilizado pela máquina é ideal, assinale a alternativa que mostra o rendimento dessa máquina.



Informações: $\gamma = \frac{Cp}{Cv}$

A) $1-\frac{1}{\gamma}\left[\frac{\left(\frac{V_C}{V_0}\right)^{\gamma}-\left(\frac{V_B}{V_0}\right)^{\gamma}}{\frac{V_C}{V_0}-\frac{V_B}{V_0}}\right]$

B) $1-\gamma\left[\frac{\left(\frac{V_C}{V_0}\right)^{\gamma}-\left(\frac{V_B}{V_0}\right)^{\gamma}}{\frac{V_C}{V_0}-\frac{V_B}{V_0}}\right]$

C) $1-\frac{1}{\gamma}\left[\frac{\frac{V_C}{V_0}-\frac{V_B}{V_0}}{\left(\frac{V_C}{V_0}\right)^{\gamma}-\left(\frac{V_B}{V_0}\right)}\right]$

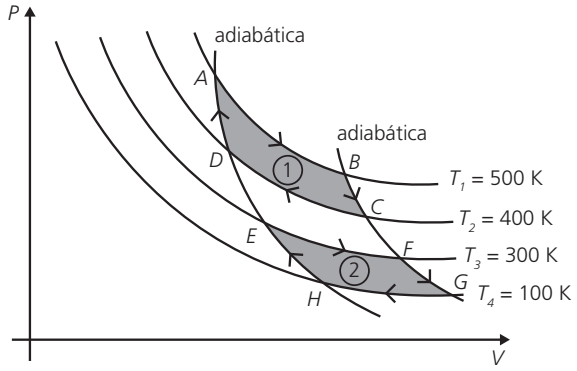
D) $1-\gamma\left[\frac{\frac{V_C}{V_0}-\frac{V_B}{V_0}}{\left(\frac{V_C}{V_0}\right)^{\gamma}-\left(\frac{V_B}{V_0}\right)}\right]$

E) $1-\frac{\gamma}{\left(\frac{V_C}{V_0}\right)^{\gamma}+\left(\frac{V_B}{V_0}\right)}$

05. Dispõe-se de duas máquinas térmicas de Carnot. A máquina 1 trabalha entre as temperaturas de 227 °C e 527 °C, enquanto a máquina 2 opera entre 227 K e 527 K. Analise as afirmativas a seguir e responda ao que se pede.
I. A máquina 2 tem maior rendimento que a máquina 1;
II. Se a máquina 1 realizar um trabalho de 2000 J terá retirado 6000 J de calor da fonte quente;
III. Se a máquina 2 retirar 4000 J de calor da fonte quente irá liberar aproximadamente 1720 J de calor para a fonte fria;
IV. Para uma mesma quantidade de calor retirada da fonte quente pelas duas máquinas, a máquina 2 rejeita mais calor para a fonte fria.

São corretas apenas
A) I e II
B) I e III
C) II e IV
D) III e IV

06. (AFA) Considere um gás ideal que pode ser submetido a duas transformações cíclicas reversíveis e não simultâneas. 1 e 2, como mostrado no diagrama PV a seguir.



Na transformação 1 o gás recebe uma quantidade de calor Q_1 de uma fonte quente à temperatura T_1 e cede a quantidade de calor Q_2 para a fonte fria à temperatura T_2. Enquanto que, na transformação 2, as quantidades de calor recebida, Q'_1, e cedida, Q'_2, são trocadas respectivamente com duas fontes às temperaturas T_3 e T_4.

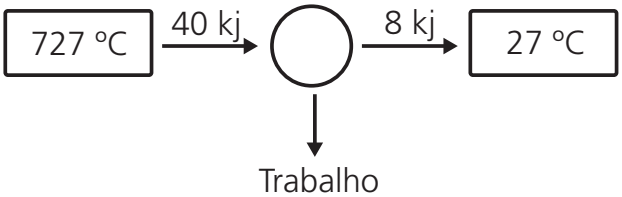
Nessas condições, é correto afirmar que
A) a variação da entropia nas transformações BC, DA, FG e HE é não nula.
B) nas transformações AB e EF, a variação da entropia é negativa, enquanto que, nas transformações CD e GH, é positiva.
C) na transformação 1, a variação da entropia é não nula e $Q_1 = \frac{5}{4}Q_2$.
D) na transformação 2, a variação da entropia é nula e $Q_1' = 3Q_2'$.

07. Até 1824 acreditava-se que as máquinas térmicas, cujos exemplos são as máquinas a vapor e os atuais motores a combustão, poderiam ter um funcionamento ideal. Sadi Carnot demonstrou a impossibilidade de uma máquina térmica, funcionando em ciclos entre duas fontes térmicas (uma quente e outra fria), obter 100% de rendimento. Tal limitação ocorre porque essas máquinas
A) realizam trabalho mecânico.
B) produzem aumento da entropia.
C) utilizam transformações adiabáticas.
D) contrariam a lei da conservação de energia.
E) funcionam com temperatura igual à da fonte quente.

08. As máquinas térmicas são capazes de converter calor em trabalho. Elas funcionam em ciclos e utilizam duas fontes de temperaturas diferentes: uma quente, de onde recebe calor, e uma fria, para onde o calor rejeitado é direcionado. A respeito das máquinas térmicas, é importante saber que elas não transformam todo o calor em trabalho, ou seja, o rendimento de uma máquina térmica é sempre inferior a 100%.

Disponível em: <http://www.infoescola.com/física/maquina-termica/>
Acesso em: 15 jul. 2016. Adaptado.

Um esquema de máquina térmica eficiente é mostrado na figura a seguir:



No que diz respeito à máquina representada, assinale a alternativa correta.
A) Ela é ideal.
B) Pode funcionar como esquematizada, uma vez que não viola as Leis da Termodinâmica.
C) Só pode funcionar entre essas temperaturas, se o calor rejeitado for igual a 12 kJ.
D) Trabalha abaixo da eficiência de Carnot.
E) Não pode funcionar da forma esquematizada.

09. "Um motor só poderá realizar trabalho se receber uma quantidade de energia de outro sistema. No caso, a energia armazenada no combustível é, em parte, liberada durante a combustão para que o aparelho possa funcionar. Quando o motor funciona, parte da energia convertida ou transformada na combustão não pode ser utilizada para a realização de trabalho. Isso significa dizer que há vazamento da energia em outra forma."

CARVALHO, A. X. Z. *Física Térmica*. Belo Horizonte: Pax, 2009. (Adaptado).

De acordo com o texto anterior, as transformações de energia que ocorrem durante o funcionamento do motor são decorrentes da
A) liberação de calor dentro do motor ser impossível.
B) realização de trabalho pelo motor ser incontrolável.
C) conversão integral de calor em trabalho ser impossível.
D) transformação de energia térmica em cinética ser impossível.
E) utilização de energia potencial do combustível ser incontrolável.

10. Uma máquina térmica que opera, segundo o ciclo de Carnot, executa 10 ciclos por segundo. Sabe-se que, em cada ciclo, ela retira 800 J da fonte quente e cede 400 J para a fonte fria. Se a temperatura da fonte fria é igual a 27 °C o rendimento dessa máquina e a temperatura da fonte quente valem, respectivamente,
A) 20%; 327 K
B) 30%; 327 K
C) 40%; 700 K
D) 50%; 600 K

11. Uma máquina de Carnot trabalha extraindo calor de um reservatório térmico na temperatura de 727 °C e descartando o calor, não transformado em trabalho, em um reservatório térmico na temperatura de 277 °C. Quatro inventores alegam ter construído máquinas térmicas com as seguintes eficiências. Máquina 1, 35%; Máquina 2, 40%; Máquina 3, 50%; Máquina 4, 55%. Segundo as leis da termodinâmica, quais dessas quatro máquinas são realmente possíveis de serem construídas?
Dado: 0 °C = 273 K
A) Máquina 1 e Máquina 2.
B) Máquina 3 e Máquina 4.
C) Máquina 1 e Máquina 4.
D) Máquina 2 e Máquina 3.

12. Um folheto explicativo sobre uma máquina térmica informa que ela, ao receber 1000 cal de uma fonte quente, realiza 4186 J de trabalho. Sabendo que 1 cal equivale a 4,186 J e, com base nos dados fornecidos pelo folheto, você pode afirmar que essa máquina:
A) viola a 1ª lei da termodinâmica.
B) possui um rendimento nulo.
C) possui um rendimento de 10%.
D) viola a 2ª lei da termodinâmica.
E) funciona de acordo com o ciclo de Carnot.

13. Podemos considerar como máquina térmica qualquer dispositivo que receba uma quantidade de calor Q_1 e converta parte da energia recebida dessa maneira em trabalho mecânico W. O calor não aproveitado, chamado $Q_2 = Q_1 - W$, é devolvido ao ambiente sem ser aproveitado. Em relação a essas trocas de calor, definimos como eficiência de uma máquina térmica a razão

entre o trabalho mecânico W produzido e a quantidade de calor Q_1 entregue à máquina. Em particular, considere uma máquina térmica que opera entre as temperaturas 300 K e 1200 K. Sobre as informações acima descritas, assinale a alternativa incorreta.

A) Todas as máquinas térmicas devem satisfazer igualmente a primeira e a segunda lei da termodinâmica.
B) A eficiência máxima de uma máquina térmica que opere entre as temperaturas citadas é de 75%.
C) Diminuindo pela metade as temperaturas citadas, o rendimento máximo de uma máquina térmica que opere entre essas temperaturas não é alterado.
D) Com a tecnologia moderna, é possível construir uma máquina térmica que opere entre as temperaturas citadas com rendimento superior a 75%.
E) Devido à segunda lei da termodinâmica, é impossível construir um dispositivo cujo único efeito seja converter calor integralmente em trabalho.

14. Uma das grandes contribuições para a ciência do século XIX foi a introdução, por Sadi Carnot, em 1824, de uma lei para o rendimento das máquinas térmicas, que veio a se transformar na lei que conhecemos hoje como a segunda lei da termodinâmica. Na sua versão original, a afirmação de Carnot era:

"Todas as máquinas térmicas reversíveis ideais, operando entre duas temperaturas, uma maior e outra menor, têm a mesma eficiência, e nenhuma máquina operando entre essas temperaturas pode ter eficiência maior do que uma máquina térmica reversível ideal."

Com base no texto e nos conhecimentos sobre o tema, é correto afirmar:

A) A afirmação, como formulada originalmente, vale somente para máquinas a vapor, que eram as únicas que existiam na época de Carnot.
B) A afirmação de Carnot introduziu a ideia de Ciclo de Carnot, que é o ciclo em que operam, ainda hoje, nossas máquinas térmicas.
C) A afirmação de Carnot sobre máquinas térmicas pode ser encarada como uma outra maneira de dizer que há limites para a possibilidade de aprimoramento técnico sendo impossível obter uma máquina com rendimento maior do que a de uma máquina térmica ideal.
D) A afirmação de Carnot introduziu a ideia de Ciclo de Carnot, que veio a ser o ciclo em que operam, ainda hoje, nossos motores elétricos.
E) Carnot viveu em uma época em que o progresso técnico era muito lento, e sua afirmação é hoje desprovida de sentido, pois o progresso técnico é ilimitado.

15. Considere uma máquina térmica operando em um ciclo termodinâmico. Essa máquina recebe 300 J de uma fonte quente cuja temperatura é de 400 K e produz um trabalho de 150 J. Ao mesmo tempo, rejeita 150 J para uma fonte fria que se encontra a 300 K. A análise termodinâmica da máquina térmica descrita revela que o ciclo proposto é um(a)

A) máquina frigorífica na qual tanto a primeira lei quanto a segunda lei da Termodinâmica são violadas.
B) máquina frigorífica na qual a primeira lei é atendida, mas a segunda lei é violada.
C) motor térmico no qual tanto a primeira lei quanto a segunda lei da termodinâmica são atendidas.
D) motor térmico no qual a primeira lei é violada, mas a segunda lei é atendida.
E) motor térmico no qual a primeira lei é atendida, mas a segunda lei é violada.

16. "Aumentar a eficiência na queima de combustível dos motores à combustão e reduzir suas emissões de poluente são a meta de qualquer fabricante de motores. É também o foco de uma pesquisa brasileira que envolve experimentos com plasma, o quarto estado da matéria e que está presente no processo de ignição. A interação da faísca emitida pela vela de ignição com as moléculas de combustível gera o plasma, que provoca a explosão liberadora de energia que, por sua vez, faz o motor funcionar."

Disponível em: <www.inovacaotecnologica.com.br>.
Acesso em: 22 jul. 2010. Adaptado.

No entanto, a busca da eficiência referenciada no texto apresenta como fator limitante

A) o tipo de combustível, fóssil, que utilizam. Sendo um insumo não renovável, em algum momento estará esgotado.
B) um dos princípios da termodinâmica, segundo o qual o rendimento de uma máquina térmica nunca atinge o ideal.
C) o funcionamento cíclico de todos os motores. A repetição contínua dos movimentos exige que parte da energia seja transferida ao próximo ciclo.
D) as forças de atrito inevitáveis entre as peças. Tais forças provocam desgastes contínuos que, com o tempo, levam qualquer material à fadiga e ruptura.
E) a temperatura que eles trabalham. Para atingir o plasma, é necessária uma temperatura maior que a de fusão do aço com que se fazem os motores.

17. Uma lâmpada é embalada em uma caixa fechada e isolada termicamente. Considere que no interior da lâmpada há vácuo e que o ar dentro da caixa seja um gás ideal. Em um certo instante, a lâmpada se quebra. Desprezando o volume e a massa dos componentes da lâmpada (vidro, suporte, filamento, ...) e a variação de energia associada à sua quebra, é incorreto afirmar que:

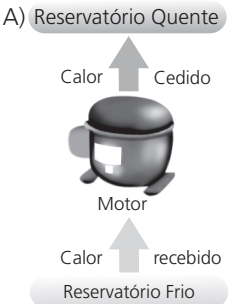
A) a energia interna do gás permanecerá a mesma após a quebra da lâmpada.
B) a entropia do gás aumentará após a quebra da lâmpada.
C) a temperatura do gás permanecerá a mesma após a quebra da lâmpada.
D) a pressão do gás diminuirá após a quebra da lâmpada.
E) após a quebra da lâmpada, o gás realizará um trabalho positivo para se expandir e ocupar o volume onde anteriormente havia vácuo.

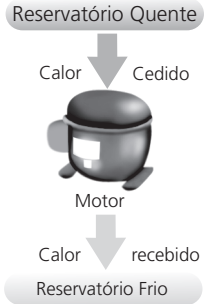
18. Leia o texto a seguir.

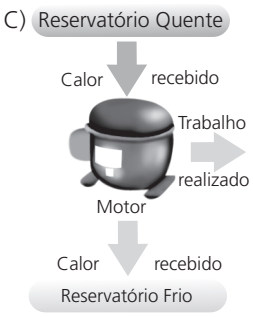
"Por trás de toda cerveja gelada, há sempre um bom *freezer*. E por trás de todo bom *freezer*, há sempre um bom compressor – a peça mais importante para que qualquer sistema de refrigeração funcione bem. Popularmente conhecido como 'motor', o compressor hermético é considerado a alma de um sistema de refrigeração. A fabricação desses aparelhos requer tecnologia de ponta, e o Brasil é destaque mundial nesse segmento".

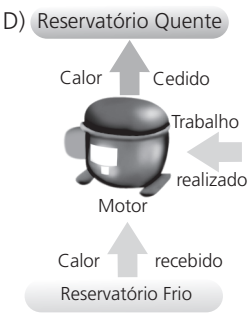
KUGLER, H. *Eficiência gelada*. Ciência Hoje. v. 252. set. 2008. p. 46.

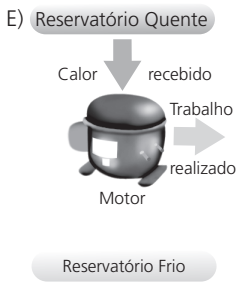
Assinale a alternativa que representa corretamente o diagrama de fluxo do refrigerador.

A)


B)


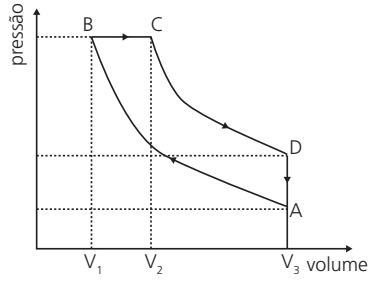
C)


D)


E)


19. (PUC-RS-Adaptada) Em uma máquina térmica ideal que opere em ciclos, todos os processos termodinâmicos, além de reversíveis, não apresentariam dissipação de energia causada por possíveis efeitos dos atritos internos nos mecanismos ou turbulências no fluido operador da máquina. O ciclo de Carnot é um bom exemplo de processo termodinâmico idealizado, que apresentam a maior eficiência possível na transformação de calor em trabalho útil. A eficiência para uma máquina de Carnot operando entre as temperaturas absolutas de 300 K e 900 K seria de aproximadamente _____, e a entropia do sistema ao final ficaria _____ valor inicial do processo.
A) 66% – maior que
B) 66% – igual ao
C) 33% – menor que
D) 33% – maior que
E) 100% – igual ao

20. Ruldolf Diesel patenteou um motor a combustão interna de elevada eficiência, cujo ciclo está esquematizado no diagrama pressão × volume. O ciclo Diesel é composto por quatro etapas, duas das quais são transformações adiabáticas. O motor de Diesel é caracterizado pela compressão de ar apenas, com a injeção do combustível no final.



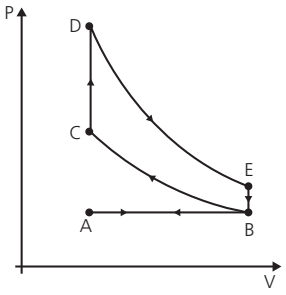
No ciclo Diesel, o calor é absorvido em:
A) A → B e C → D, pois em ambos ocorre realização de trabalho.
B) A → B e B → C, pois em ambos ocorre elevação da temperatura.
C) C → D, pois representada uma expansão adiabática e o sistema realiza trabalho.
D) A → B, pois representa uma compressão adiabática em que ocorre elevação da temperatura.
E) B → C, pois representa expansão isobárica em que o sistema realiza trabalho e a temperatura se eleva.

21. Uma máquina a vapor foi projetada para operar entre duas fontes térmicas, a fonte quente e a fonte fria, e para trabalhar segundo o ciclo de Carnot. Sabe-se que a temperatura da fonte quente é de 127 °C e que a máquina retira, a cada ciclo, 600 J desta fonte, alcançando um rendimento máximo igual a 0,25. O trabalho realizado pela máquina, por ciclo, e a temperatura da fonte fria são, respectivamente:
A) 240 J e 95 °C
B) 150 J e 27 °C
C) 15 J e 95 °C
D) 90 J e 27 °C
E) 24 J e 0 °C

22. (Escola Naval) Analise as afirmativas a seguir referentes à entropia.
I. Em um dia úmido, o vapor de água se condensa sobre uma superfície fria. Na condensação, a entropia da água diminui;
II. Em um processo adiabático reversível, a entropia do sistema se mantém constante;
III. A entropia de um sistema nunca pode diminuir;
IV. A entropia do universo nunca pode diminuir.

Assinale a opção que contém apenas afirmativas corretas.
A) I e II.
B) II e III.
C) III e IV.
D) I, II e III.
E) I, II e IV.

23. O motor de combustão interna, utilizado no transporte de pessoas e cargas, é uma máquina térmica cujo ciclo consiste em quatro etapas: admissão, compressão, explosão/expansão e escape. Essas etapas estão representadas no diagrama da pressão em função do volume. Nos motores a gasolina, a mistura ar/combustível entra em combustão por uma centelha elétrica.



Para o motor descrito, em qual ponto do ciclo é produzida a centelha elétrica?
A) A
B) B
C) C
D) D
E) E

24. Um técnico de manutenção de máquinas pôs para funcionar um motor térmico que executa 20 ciclos por segundo. Considerando-se que, em cada ciclo, o motor retira uma quantidade de calor de 1200 J de uma fonte quente e cede 800 J a uma fonte fria, é correto afirmar que o rendimento de cada ciclo é
A) 13,3%
B) 23,3%
C) 33,3%
D) 43,3%
E) 53,3%

25. Uma bolha de gás metano com volume de 10 cm^3 é formado a 30 m de profundidade em um lago. Suponha que o metano comporta-se como um gás ideal de calor específico molar $C_V = 3R$ e considere a pressão atmosférica igual a 10^5 N/m^2. Supondo que a bolha não troque calor com a água ao seu redor, o valor de seu volume quando ela atinge a superfície é
A) 16 cm^3
B) 28 cm^3
C) 32 cm^3
D) 36 cm^3
E) 44 cm^3

26. Suponha que uma máquina de Carnot seja construída utilizando como fonte fria o lado do planeta *Gliese* 581g que nunca recebe luz e como fonte quente o lado que sempre recebe luz. A temperatura da fonte fria Tf = –40°C e da fonte quente Tq = 70°C. A cada ciclo a máquina retira da fonte quente 1000 J de calor.

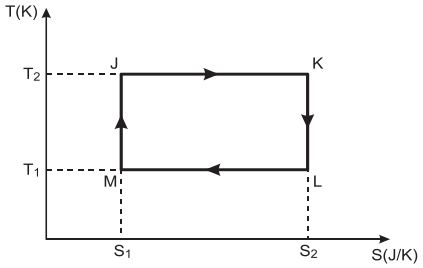
Considerando que a máquina trabalha com um gás ideal, leia os itens a seguir:

I. A máquina pode ser representada por um ciclo com duas transformações adiabáticas reversíveis e duas transformações isotérmicas reversíveis;
II. Se o ciclo desta máquina consiste de uma expansão isotérmica, uma expansão adiabática, uma compressão isotérmica e uma compressão adiabática, respectivamente, então ocorre transformação de calor em trabalho útil;
III. O rendimento da máquina é maior do que 40%;
IV. A cada ciclo uma quantidade de calor maior que 700 J é rejeitada para a fonte fria.

Marque a opção correta:

A) I e III são verdadeiras.
B) I e II são verdadeiras.
C) I e IV são verdadeiras.
D) III e IV são verdadeiras.
E) II e IV são verdadeiras.

27. Uma máquina térmica opera segundo o ciclo JKLMJ mostrado no diagrama T-S da figura.

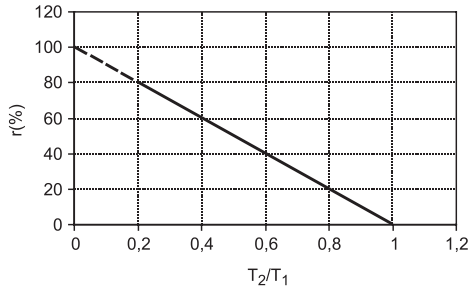


Pode-se afirmar que

A) processo JK corresponde a uma compressão isotérmica.
B) o trabalho realizado pela máquina em um ciclo é $W = (T_2 - T_1)(S_2 - S_1)$.
C) o rendimento da maquina é dado por $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$.
D) durante o processo LM, uma quantidade de calor $Q_{LM} = T_1(S_2 - S_1)$ é absorvida pelo sistema.
E) outra máquina térmica que opere entre T_2 e T_1 poderia eventualmente possuir um rendimento maior que a desta.

28. Para responder a questão, considere o texto e o gráfico, o qual relaciona o rendimento de uma máquina de Carnot e a razão T_2/T_1 das temperaturas em que opera a máquina.

O ciclo de Carnot é um ciclo termodinâmico especial, pois uma máquina térmica que opera de acordo com este ciclo entre duas temperaturas T_1 e T_2, com T_1 maior do que T_2, obtém o máximo rendimento possível. O rendimento **r** de uma máquina térmica é definido como a razão entre o trabalho líquido que o fluido da máquina executa e o calor que absorve do reservatório à temperatura T_1.



Pode-se concluir, pelo gráfico e pelas leis da termodinâmica, que o rendimento da máquina de Carnot aumenta quando a razão T_2/T_1 diminui,

A) alcançando 100% quando T_2 vale 0 °C.
B) alcançando 100% quando T_1 é muito maior do que T_2.
C) alcançando 100% quando a diferença entre T_1 e T_2 é muito pequena.
D) mas só alcança 100% porque representa o ciclo ideal.
E) mas nunca alcança 100%.

29. A cada ciclo de funcionamento, o motor de um certo automóvel retira 40 kJ do compartimento da fonte quente, onde se dá a queima do combustível, e realiza 10 kJ de trabalho. Sabendo que parte do calor retirado da fonte quente é dispensado para o ambiente (fonte fria) a uma temperatura de 27 °C, qual seria a temperatura no compartimento da fonte quente se esse motor operasse segundo o ciclo de Carnot?

Dado: considere que as temperaturas em graus centígrados, T_C, e Kelvin, T_K, se relacionam através da expressão $T_C = T_K - 273$.

A) 127 °C
B) 177 °C
C) 227 °C
D) 277 °C
E) 377 °C

Gabarito

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	C	A	A	C	D	B	E	C	D
11	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
A	D	D	C	E	B	E	D	B	E
21	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	
B	E	C	C	B	B	B	E	A	

Supervisor(a): MARCELO PENA – **Autor(a):** ANDREW AQUINO
Digitador(a).: VICENTINA – **Revisora.:** KARLLA
OSG.: 028.843 – 151750/20